

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-104225

(43)Date of publication of application : 21.04.1995

(51)Int.Cl.

G02F 1/09

(21)Application number : 05-249523

(71)Applicant : MITSUBISHI GAS CHEM CO INC

(22)Date of filing : 05.10.1993

(72)Inventor : SHIRAI KAZUSHI
TAKEDA NORIO

(54) FARADAY ROTATOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a method to avoid magnetic hysteresis of a rare earth iron garnet single crystal film which is conventionally considered difficult to be used as a Faraday rotator for an optical switch or a magnetic sensor because of its large magnetic hysteresis although it has a very low saturation magnetic field.

CONSTITUTION: A permanent magnet is disposed in a part of a rare earth iron garnet single crystal film.

Thereby, magnetic hysteresis of the rare earth iron garnet single crystal film can be eliminated. The film is conventionally considered difficult to be used as a Faraday rotator because of its large magnetic hysteresis although it has a very low saturation magnetic field. As a result, the rare earth iron garnet single crystal film having a low saturation magnetic field can be used as a Faraday rotator for an optical switch or a magnetic sensor using Faraday effect.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

*** NOTICES ***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The Faraday-rotation child characterized by some rare-earth-iron-garnet single crystal films [at least] always being magnetized by the film surface perpendicular direction with the permanent magnet.

[Claim 2] The Faraday-rotation child according to claim 1 characterized by being magnetized to opposite direction mutually [a Faraday-rotation child] two places using two permanent magnets.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] this invention relates to the method of using the big rare-earth-iron-garnet single crystal film of a hysteresis as a Faraday-rotation child of an optical magnetic field sensor or an optical-switch use, magnetically. Furthermore, if it says in detail, this invention is vanishing the magnetic hysteresis of the rare-earth-iron-garnet single crystal film acting as an obstacle, in case it uses as a Faraday-rotation child of an optical magnetic field sensor or an optical switch, and relates to the method of closing, if the big rare-earth-iron-garnet single crystal film of a magnetic hysteresis can also be used as a Faraday-rotation child of these uses.

[0002]

[Description of the Prior Art] In recent years, the optical switch using the rare-earth-iron-garnet single crystal film which has the big Faraday effect, and the device called optical magnetic field sensor called a photocurrent sensor and optical rotation sensor are put in practical use one after another, and development of the rare-earth-iron-garnet single crystal film set by these uses is also performed briskly. The Faraday effect is a kind of the magneto-optical effect, and points out the phenomenon which the plane of polarization of the light which penetrated Faraday cells [a Faraday-rotation child], such as the material which shows the Faraday effect, i.e., a rare-earth-iron-garnet single crystal film etc., rotates. And the size of the angle of rotation of this plane of polarization becomes large in proportion to the intensity of magnetization of a Faraday cell. This situation is shown in drawing 1. In drawing 1, a Faraday-rotation child's Faraday-rotation angle in the state where an external magnetic field [intensity] is not impressed is located in Zero [0] o, i.e., a zero. If an external magnetic field becomes strong gradually, through Path a or Path d, gradually, absolute value [θ_F of a Faraday-rotation angle or $-\theta_F$, and] that usually adds right-handed rotation and considers left-handed rotation as minus will become large, and will go [path o->a->b or path o->d->e]. If external-magnetic-field intensity reaches a certain intensity [Hs], a Faraday-rotation angle will serve as a saturated value [saturation magnetic field: b or e points]. Furthermore, even if external-magnetic-field intensity becomes strong, since the Faraday-rotation angle is already saturated, a Faraday-rotation angle does not change only by shifting to f from c or d from b. If the external magnetic field is weakened gradually next, a reverse path, i.e., c->b->a->o, or f->e->d->o will be followed, finally magnetic field interference will be lost, and it will return to Zero o. The optical switch and the magnetic field sensor used the magnetic field dependence property of a plane-of-polarization angle of rotation which was described above.

[0003] An optical switch tends to operate by generating and switching the magnetic field more than the saturation point b of drawing 1, and the saturation point e with a magnetic field generator, and detection of the magnetic field according [and] to a photocurrent sensor tends to detect the difference in the Faraday-rotation angle in the straight-line field between this zero o and the saturation point b as optical intensity. And detection of the strength of the magnetic field by the optical magnetic field sensor as a rotation sensor tends to detect the difference in the Faraday-rotation angle in this zero o, the saturation point b, or the saturation point c as optical intensity.

[0004] The composition of the optical switch using Faraday-rotation children, such as a rare-earth-iron-garnet single crystal film, is shown in drawing 2. Here, it is a sign 1. The polarizer which consists of a rutile etc., and sign 2 The Faraday-rotation child who consists of a rare-earth-iron-garnet single crystal film etc., and a sign 3 are polarization separation elements which consist of a rutile etc. Sign 4 It is the magnetic field generator which consists of an electromagnet, a coil, etc. for generating the magnetic field beyond sufficient magnetic field, i.e., a saturation magnetic field, saturating a Faraday-rotation child magnetically. In drawing 2, the light which penetrated the polarizer 1 turns into the linearly polarized light, and carries out incidence to a Faraday-rotation child. The plane of polarization of the light which carried out incidence to the Faraday-rotation child rotates here. It depends in the direction of the magnetic field impressed to a Faraday-rotation child. If the hand of cut of plane of polarization changes, the optical path of the

light which penetrated the polarization separation element 4 will change. That is, the outgoing radiation position of light changes namely, becomes switchable by switching the direction of an external impression magnetic field. If a Faraday-rotation child's saturation magnetic field is large in this composition, in order to generate sufficient magnetic field made sufficient for a Faraday-rotation child's magnetization being saturated, a magnetic field generator is enlarged and big power is needed. Moreover, problems, such as generation of heat of the coil by current, occur. For this reason, in the optical switch adapting the Faraday effect, the saturation magnetic field of a rare-earth-iron-garnet single crystal film must be made as small as possible, and must attain power-saving and a miniaturization of a magnetic field generator.

[0005] Generally a photocurrent sensor is constituted like drawing 3. Namely, sign 5 The polarizer which consists of a rutile etc., and sign 6 The Faraday-rotation child who consists of a rare-earth-iron-garnet single crystal film etc., and sign 7 It is the analyzer which consists of a rutile etc. It sets to drawing 3 and is a polarizer 5. A transmitted light turns into the linearly polarized light, and, subsequently the plane of polarization rotates it by the Faraday-rotation child. Although the light which penetrated the Faraday-rotation child next penetrates an analyzer, the optical intensity changes according to a Faraday-rotation angle. Usually, rotation of the plane of polarization by the Faraday-rotation child changes to below a saturation magnetic field almost linearly according to the external-magnetic-field intensity impressed to a Faraday-rotation child (refer to drawing 1). Therefore, by measuring the optical intensity after analyzer transparency, the external-magnetic-field intensity impressed to a Faraday-rotation child will be detected. In a photocurrent sensor, although it is necessary to detect a slight change of current which flows an electric wire with a sufficient precision, in order to detect a slight change of current, i.e., minute change of the magnetic field which current forms, it is necessary to start the slope of a line in drawing 1. It is necessary to lower the saturation magnetic field of the rare-earth-iron-garnet single crystal film used for a Faraday-rotation child for that purpose, and to enlarge the Faraday-rotation angle per unit magnetic field.

[0006] The optical magnetic field sensor which becomes the range which the influence of the magnetic field which the permanent magnet is attached in the rotating equipment and [applied optics (Applied Optics), the 28th volume, No. 11 and 1992 pages (1989 years)] and this permanent magnet form attains to from a rare-earth-iron-garnet single crystal is arranged with the tachometer using an optical magnetic field sensor, i.e., the tachometer by the lightwave signal. Then, although an optical magnetic field sensor and a permanent magnet repeat approach and estrangement with rotation of a rotating equipment, a difference arises in the magnetic field strength impressed to a Faraday-rotation child in the case where it deserts with the case where a permanent magnet approaches. That is, a Faraday-rotation angle changes and, as a result, an analyzer and the luminous intensity to penetrate change with rotations of a permanent magnet. Therefore, the rotational frequency and rotational speed of a permanent magnet can be regarded as an optical on-the-strength change. In this case, if the distance of a permanent magnet and an optical magnetic field sensor head becomes long, the magnetic field which a permanent magnet forms will become weaker. Therefore, it corresponds to weakening of a magnetic field in which a permanent magnet forms the sensitivity and precision using the Faraday effect of a tachometer using a permanent magnet with more strong magnetism in order to raise more, or reaches, and while choosing the optical magnetic field sensor head which demonstrates sufficient function also in a weak magnetic field, it is necessary to shorten more distance of a permanent magnet and an optical magnetic field sensor head. Sometimes, the configuration of a permanent magnet becomes large, and restrictions arise in an installation not only it is economically disadvantageous to change a permanent magnet to what has more strong magnetism, but, and the distance of a permanent magnet and an optical magnetic field sensor head becomes long, and evils -- a substantial improvement effect is not acquired -- arise. Then, the rare-earth-iron-garnet single crystal film magnetically saturated with a low magnetic field is needed.

[0007] As mentioned above, in the optical switch or the optical magnetic field sensor, it is a performance side or the field of a manufacturing cost, and is anxious for the rare-earth-iron-garnet single crystal single crystal film saturated as much as possible with a low magnetic field.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Chemical structure formula The rare-earth-iron-garnet single crystal film expressed with] as which $R_3(FeA)_5O_{12}$ [however R mean Yttrium Y, Bismuth Bi, or rare earth elements, and A means things, such as Aluminum aluminum and Gallium Ga, is liquid phase epitaxial (LPE). It can manufacture comparatively easily by the method. It is known that the bismuth substitution iron garnet single crystal which replaced some especially rare earth by the bismuth shows the very big Faraday effect.

[0009] Usually replacing iron by elements, such as Aluminum aluminum and Gallium Ga, is widely performed from it being desirable to have a low saturation magnetic field as much as possible in respect of sensitivity or a manufacturing cost as for the rare-earth-iron-garnet single crystal used for an optical switch or an optical magnetic field sensor. For example, $3(GdBi)(FeGaAl)_5O_{12}$ $(HoTbBi)_3(FeGaAl)_5O_{12}$ etc. are reported [refer to [JP,61-20926,A and]

Japanese-Patent-Application-No. 5-55621]. However, in a rare-earth-iron-garnet single crystal film, when aluminum and the percentage of Ga and Fe are changed and the saturation magnetic field is lowered, there is a practically very big problem [say / that a magnetic hysteresis becomes large gradually].

[0010] Hereafter, a magnetic hysteresis is explained in detail. The comparatively big rare-earth-iron-garnet single crystal 5O12 of a saturation magnetic field, for example, (HoTbBi), 3Fe, The relation between the magnetization property over a Faraday-rotation child's external magnetic field, i.e., external-magnetic-field intensity, and a Faraday-rotation angle seems to be drawing 1 . (However, a rare earth substitution iron garnet single crystal with a small saturation magnetic field, for example, (GdBi), 3(FeAlGa)5O12, It sets in the relation between external-magnetic-field intensity and a Faraday-rotation angle, and is a path like drawing 4 . The hysteresis loop like $o \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow b' \rightarrow a \rightarrow o$ is drawn.) That is, when weakening with [path $o \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c$] when strengthening the intensity of an external magnetic field and going, and going, it is with [path $c \rightarrow b \rightarrow b' \rightarrow a \rightarrow o$], and the paths differ.

[0011] b' point which produced the magnetic field in b points and e points by the hysteresis of the saturation magnetic field Hs and a magnetization property in drawing 4 , and e -- ' the magnetic field in a point -- the nucleation magnetic field Hn -- calling -- difference (Hs-Hn) of the saturation magnetic field Hs and the nucleation magnetic field Hn It is defined as the size of a hysteresis. Saturation magnetic field Hs in b points in order to give explanation simply and easy now It is the saturation magnetic field [in / e points / Hs1 and the nucleation magnetic field Hn in b' point are displayed as Hn1, and] Hs Hs2 and e' Nucleation magnetic field Hn in a point It is displayed as Hn2.

[0012] If the hysteresis of a rare-earth-iron-garnet single crystal film becomes large and the nucleation magnetic field Hn approaches Zero o, it will be held until an external magnetic field almost becomes [the state where it was once saturated magnetically] zero so that drawing 4 may see. Therefore, by the optical rotation sensor which consisted of big Faraday-rotation children of a hysteresis, in order to detect the strength of magnetic field strength, you have to make mostly magnetic field strength of the circumference and the circumference of an optical magnetic field sensor into zero. However, generally the rotation sensor was usually installed in the interior of a machinery, and moreover, although the machinery material is slight, it wears magnetism. Therefore, it is quite difficult to use the magnetic field strength of the circumference and the circumference of an optical magnetic field sensor in the state where it was mostly made zero. Moreover, by the photocurrent sensor, the limit below of Hn in the measuring range of the magnetic field arises.

[0013] Moreover, when the hysteresis of a rare-earth-iron-garnet single crystal film becomes still larger, it is the nucleation magnetic field Hn1. What enters into a minus side exceeding Zero o, [drawing 5], and nucleation magnetic field Hn1 Saturation magnetic field Hs2 It is large and a square hysteresis curve is drawn, and [drawing 6] and once it is saturated, there are some to which it becomes drawing the loop of this square, and a magnetic field required for saturation becomes larger than the saturation magnetic field Hs of original of a rare-earth-iron-garnet single crystal.

[0014] Thus, of course, that it is completely unsuitable as a Faraday-rotation child for photocurrent sensors has greatly a magnetic field [required for the saturation] very difficult for a bird clapper to use also for a rotation sensor or an optical-switch use since an impression magnetic field and the linearity of a Faraday-rotation angle separate from the big rare-earth-iron-garnet single crystal of a hysteresis.

[0015] Generally, although a saturation magnetic field will fall if the rare-earth-iron-garnet single crystal film replaces iron with a gallium, aluminum, etc., along with the fall of a saturation magnetic field, a magnetic hysteresis becomes large. Then, this invention persons inquired wholeheartedly that a rare-earth-iron-garnet single crystal film without a magnetic hysteresis should be developed. Consequently, as compared with the conventional rare-earth-iron-garnet single crystal film, although the saturation magnetic field was low, the magnetic hysteresis found out 3(FeGa)5O12 [very small (YLaBi)]. namely, general formula raised by the liquid-phase-epitaxial method on the nonmagnetic garnet single crystal substrate Y3-x-y Lax Biy Fe5-z Gaz O12 [however x, and y and z -- each and $0.1 \leq x \leq 0.1$ -- it is the number of 4, $1.0 \leq y \leq 1.9$, and $1.0 \leq z \leq 1.6$ --] -- it is the rare-earth-iron-garnet single crystal film which has a chemical composition However, also in the above-mentioned (YLaBi) 3(FeGa)5O12, the inclination for a magnetic hysteresis to become large was seen as the saturation magnetic field was reduced. And if a saturation magnetic field is made below into 150 Oe, the relation between a Faraday-rotation angle and an external impression magnetic field serves as drawing 5 or drawing 6 , and utilization is very difficult.

[0016] As explained to the detail above, since the low rare-earth-iron-garnet single crystal film of a saturation magnetic field has the large magnetic hysteresis, when using for the Faraday-rotation child for an optical switch or optical magnetic field sensors, the present condition is that the magnetic field generator for switching a magnetic field becomes large, strengthen permanent magnet intensity given for body of revolution, or there are obstacles, like magnetic field measuring range is very narrow and a limit.

[0017]

[Means for Solving the Problem] The result which examined wholeheartedly how invention-in-this-application persons

use the big rare-earth-iron-garnet single crystal film of a magnetic hysteresis as a Faraday-rotation child of an optical switch or an optical magnetic field sensor use, By always magnetizing some rare-earth-iron-garnet single crystal films to a film surface perpendicular direction with a permanent magnet It finds out that the magnetic hysteresis used as the cause which causes trouble to operation of an optical switch or an optical magnetic field sensor disappears. The very useful knowledge of becoming possible to also use the big rare-earth-iron-garnet single crystal film of a hysteresis as a Faraday-rotation child of an optical switch or an optical magnetic field sensor use is acquired, further, research and examination were added and the invention in this application was completed.

[0018] That is, the invention in this application performs still more detailed experiment examination, and makes it complete as a industrial manufacturing technology based on knowledge that the magnetization property over the external magnetic field of a rare-earth-iron-garnet single crystal film is improved by always magnetizing some rare-earth-iron-garnet single crystal films to a film surface perpendicular direction with a permanent magnet.

[0019] Although the reason the magnetic hysteresis of a rare-earth-iron-garnet single crystal film is canceled by always magnetizing some rare-earth-iron-garnet single crystal films to a film surface perpendicular direction with a permanent magnet is not clear, in relation to the magnetic-domain structure of a rare-earth-iron-garnet single crystal film, it guesses as follows.

[0020] As the magnetic-domain structure of a rare earth iron garnet is shown in drawing 8 , the field A of facing up [direction / magnetization] and the downward field B show **** and the so-called multi-magnetic-domain structure by turns (state 1). And if a magnetic field is impressed, for example in the same direction as Field A from the exterior (plus, downward magnetization, or the direction of a magnetic field is appointed for upward magnetization or the direction of a magnetic field at minus in order to give explanation clear below), the area of Field A increases gradually (state 2), finally a magnetic domain disappears, and it will be in the state where all magnetization gathered in the plus direction (state 3). This is exactly in the state saturated magnetically. Next, if external impression magnetic field strength is weakened gradually, a magnetic domain will appear in the state of a low more slightly than saturation magnetic field strength. However, even if the rare-earth-iron-garnet single crystal film with a big magnetic hysteresis weakens an external impression magnetic field, it continues maintaining the single magnetic-domain structure of the state 3 of drawing 8 . Since it shifts to multi-magnetic-domain structure from single magnetic-domain structure, this is contrary to the magnetization direction of single magnetic-domain structure, namely, has suggested that a certain operation which makes the magnetization direction of minus appear is required.

[0021] However, whenever magnetization attaches the permanent magnet of minus in some rare-earth-iron-garnet single crystals, though a magnetic field is impressed in the plus direction from the exterior and almost all fields are magnetized by plus, the circumference of a permanent magnet will hold magnetization of minus (drawing 9). the field B which has magnetization of minus from here since the permanent magnet circumference already has the magnetic domain which has magnetization of minus when the external impression magnetic field is weakened next -- the whole - - prompt -- spreading (drawing 10) -- the scheme to say is assumed Therefore, if places other than the portion which attached the permanent magnet of a rare earth iron garnet are observed, the state where there is no hysteresis will be realized.

[0022] By completion of the invention in this application, the manufacture using the rare-earth-iron-garnet single crystal film of the optical switch miniaturized by much more power saving and the optical magnetic field sensor detected also by the minute magnetic field was attained.

[0023] When carrying out this invention, what is necessary is just the permanent magnet which has sufficient magnetism for there to be especially no limit in the kind of permanent magnet, and saturate locally rare-earth-iron-garnet single crystals, such as an alnico magnet, a ferrite magnet, and a rare earth permanent magnet.

[0024] When carrying out this invention, what is necessary is just the size which there is [size] especially no limit in the size of a permanent magnet, and can saturate a rare-earth-iron-garnet single crystal locally.

[0025] From the portion which makes an ordinary light penetrate although arrangement of a permanent magnet . changes with the size of a rare earth iron garnet, and the intensity of a permanent magnet and sizes when carrying out this invention What is necessary is just to give distance 0.3mm or more.

[0026] When carrying out this invention, the magnetization direction of a permanent magnet must be the magnetic field and opposite direction which are impressed to a rare-earth-iron-garnet single crystal from the exterior. The magnetic field impressed to a rare-earth-iron-garnet single crystal from the exterior should just arrange two or more permanent magnets with which the magnetization directions differ, when the magnetic field of not Mukai but right reverse is impressed on the other hand.

[0027] Although there is especially no limit in a Faraday-rotation child's, i.e., a rare earth magnetism garnet, composition when carrying out this invention A general formula and $R_3 Fe_5 - z Az O_{12}$ [, however R Bi, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, It is it a kind that it is few as being chosen out of the group of Er, Tm, Yb, and Lu, and is

A. It is desirable to apply to the big thing of an especially magnetic hysteresis of the magnetic garnet single crystal shown by] which is chosen from the group of Ga, and Sc, aluminum and In, and which is a kind at least.

[0028] hereafter, although an example explains the embodiment and effect concretely and in detail, the following examples explain this invention concretely, and with limiting the embodiment of this invention, and the range of invention, if, it does not have intention

[0029]

[Example]

Example 1 capacity To the 500ml crucible made from platinum, lead-oxide [PbO, 4Ns] 843g, Bismuth-oxide [Bi 2O₃, 4Ns] 978g, and ferric oxide [Fe 2O₃, 4Ns] 128g, oxidization boron [B-2 O₃, 5Ns] 38g, and oxidization terbium [Tb 4O₇, 3Ns] 6.0g, oxidization holmium [Ho 2O₃, 3Ns] 7.0g, oxidization gallium [Ga 2O₃, 3Ns] 18g, aluminum-oxide [aluminum 2O₃, and 3Ns] 4.2g were taught. Melt temperature after installing this in the position of a precision vertical-mold tubular electric furnace, carrying out heating fusion at 1000 degrees C, fully stirring and mixing uniformly It cooled even at 775 degrees C and considered as the melt for bismuth substitution rare earth magnetism garnet single crystal growths. the melt front face obtained here -- a conventional method -- following -- thickness 480 micrometers A lattice constant One side of the garnet (111) single crystal [(GdCa)₃(GaMgZr)5O₁₂] substrate of 12.493**0.002 ** is contacted. Melt temperature It grows epitaxially maintaining at 775 degrees C, and is 47 micrometers in thickness. (HoTbBi) 3(FeGaAl)5O₁₂ single-crystal film [a HoTbBiFeGaAlG single crystal film] It obtained. next -- this -- HoTbBiFeGaAlG single crystal film 1mmx3mm It cut and magnetic properties were measured. Measurement took the following methods. first -- 1mmx3mm Size while arranging a HoTbBiFeGaAlG single crystal film at the center of the magnetic field generator [a magnet] which consists of a coil of a MAGUNE tech company and impressing a magnetic field -- 0.786 mum Semiconductor laser light The HoTbBiFeGaAlG single crystal film was irradiated. and -- From measurement of the angle of rotation of the plane of polarization of the laser beam which penetrated the HoTbBiFeGaAlG single crystal film, the impression magnetic field dependency of a Faraday-rotation angle was investigated. The result to HoTbBiFeGaAlG The size of the saturation magnetic field and hysteresis of a single crystal film was obtained. Consequently, the same hysteresis curve as drawing 4 was obtained. namely, -- the magnetic properties of a HoTbBiFeGaAlG single crystal film -- Hs 1= 180 (Oe) Hs2= -180 (Oe) Hn 1= 20 (Oe) Hn2= -- it was - 20 (Oe)

[0030] Next, HoTbBiFeGaAlG By arrangement as shown in a single crystal film at drawing 10 , the permanent magnet was fixed and magnetic properties were measured similarly. A permanent magnet is a residual magnetic flux density 4000 (G). Configuration 1mm phix1mm It is a ferrite permanent magnet. This ferrite permanent magnet is being fixed to a Faraday-rotation child's angle with epoxy system adhesives so that the magnetization direction may become perpendicular to a Faraday-rotation child's film surface. The result which measured the magnetic influence in this Faraday-rotation child's center position is drawing 11 . (The magnetization direction by the permanent magnet, the opposite direction), and the magnetic hysteresis disappeared in the field of plus of an impression magnetic field. namely, -- the magnetic properties of a HoTbBiFeGaAlG single crystal film -- Hs 1= 180 (Oe) Hs2= -180 (Oe) Hn 1= 180 (Oe) Hn2= -- it was -10 (Oe)

[0031] Except having arranged the ferrite permanent magnet used for example 2 example 1 like drawing 12 , they are an example 1 and this appearance. The magnetic properties of a HoTbBiFeGaAlG single crystal film were measured. However, the magnetization direction of two ferrite permanent magnets was made into the retrose. When the magnetic influence in this Faraday-rotation child's center position was measured, a property like drawing 1 was shown. Namely, Hs 1= 180 (Oe) Hs2=-180 (Oe) Hn 1= 180 (Oe) It was Hn2=-180(Oe).

[0032] It is phix1mm with a residual magnetic flux density [10000] (G) and a configuration of 1mm instead of the ferrite permanent magnet in example 3 example 2. The same measurement as an example 2 was performed except having made it the rare earth permanent magnet. this -- When the magnetic influence in the center position of a HoTbBiFeGaAlG single crystal film was measured, a property like drawing 1 was shown. Namely, Hs 1= 180 (Oe) Hs2=-180 (Oe) Hn 1= 180 (Oe) It was Hn2=-180(Oe).

[0033] It produced in the example 4 example 1. 1mmx3mm Size To the ends of a HoTbBiFeGaAlG single crystal film, it is a residual magnetic flux density 4000 (G). Configuration 1mmx1mm x0.5mm The ferrite permanent magnet has been arranged and it fixed with epoxy system adhesives. To drawing 13 Arrangement of a HoTbBiFeGaAlG single crystal film and a magnet was shown. The magnetization direction a ferrite permanent magnet It is fixed so that it may become perpendicular to the film surface of a HoTbBiFeGaAlG single crystal film. this -- When the magnetic influence in the center position of a HoTbBiFeGaAlG single crystal film was measured, a property like drawing 12 was shown. Namely, Hs 1= 180 (Oe) Hs2=-180 (Oe) Hn 1= 180 (Oe) It was Hn2=-180(Oe).

[0034] Example 5 capacity To the 300ml crucible made from platinum, lead-oxide [PbO, 4Ns] 420g, Bismuth-oxide [Bi 2O₃, 4Ns] 490g, and ferric oxide [Fe 2O₃, 4Ns] 65g, oxidization boron [B-2 O₃, 5Ns] 15g, oxidization gadolinium

[Gd 2O₃, 3Ns] 7.1g, oxidization gallium [Ga 2O₃, 3Ns] 1.3g, aluminum-oxide [aluminum 2O₃, and 3Ns] 3.8g were taught. Melt temperature after installing this in the position of a precision vertical-mold tubular electric furnace, carrying out heating fusion at 1000 degrees C, fully stirring and mixing uniformly It cooled even at 841 degrees C and considered as the melt for bismuth substitution rare earth magnetism garnet single crystal growths. the melt front face obtained here -- a conventional method -- following -- thickness 480 micrometers A lattice constant One side of the garnet (111) single crystal [(GdCa)₃(GaMgZr)₅O₁₂] substrate of 12.493**0.002 ** is contacted. Melt temperature It grows epitaxially maintaining at 841 degrees C, and is 26 micrometers in thickness. (GdBi)₃(FeGaAl)₅O₁₂ single-crystal film [a GdBiFeGaAlG single crystal film] It obtained. next -- this -- GdBiFeGaAlG single crystal film 1mmx3mm When it cut and magnetic properties were measured by the completely same method as an example 1, the square shape hysteresis as shown in drawing 6 was shown. Namely, H_s 1= 80 (Oe) H_s2=-80 (Oe) H_n1=-240 (Oe) It was H_n 2= 240 (Oe). Next, 1mm x3mm Size Like [a GdBiFeGaAlG single crystal film] the example 4, by arrangement as shown at drawing 13 , the permanent magnet was fixed and magnetic properties were measured similarly. A permanent magnet is the residual magnetic flux density 4000 (G) and configuration which were used in the example 4. 1mmx1mm x0.5mm It is a ferrite permanent magnet. this -- When the magnetic influence in the center position of a GdBiFeGaAlG single crystal film was measured, a property like drawing 1 was shown. Namely, H_s 1= 80 (Oe) H_s2=-80 (Oe) H_n 1= 80 (Oe) It was H_n2=-80(Oe).

[0035]

[Effect of the Invention] According to this invention, although a saturation magnetic field is very low, since the magnetic hysteresis is large, the use as a Faraday-rotation child can vanish the magnetic hysteresis of the difficult rare-earth-iron-garnet single crystal. Consequently, application of a hyposaturation magnetic field rare earth garnet single crystal was attained as the optical switch using the Faraday effect, and a Faraday-rotation child for magnetic field sensors.

[Translation done.]

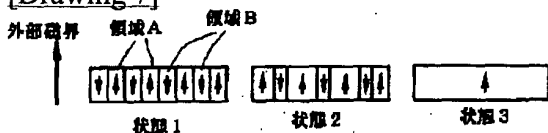
* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

[Drawing 7]



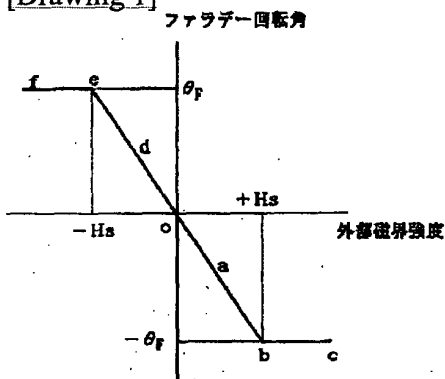
[Drawing 8]



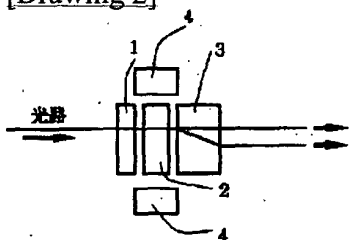
[Drawing 9]



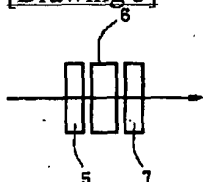
[Drawing 1]



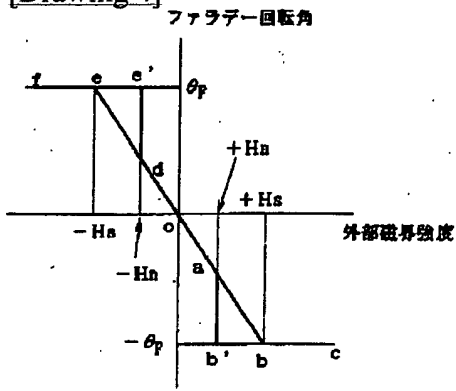
[Drawing 2]



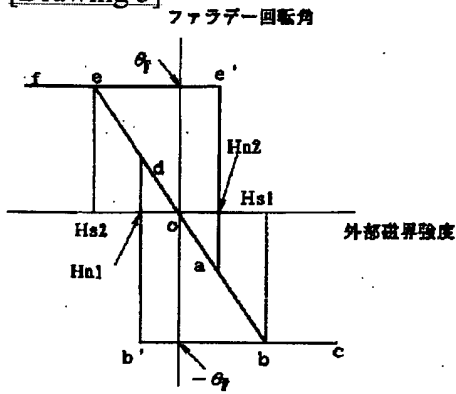
[Drawing 3]



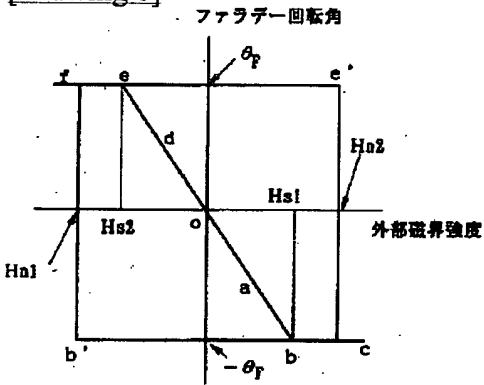
[Drawing 4]



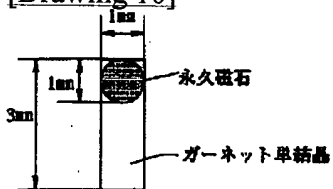
[Drawing 5]



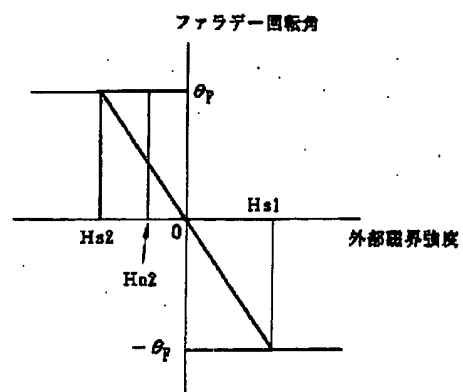
[Drawing 6]



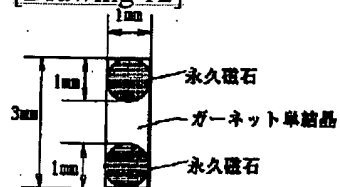
[Drawing 10]



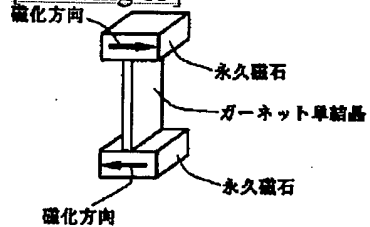
[Drawing 11]



[Drawing 12]



[Drawing 13]



[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-104225

(43)公開日 平成7年(1995)4月21日

(51)Int.Cl.⁶

G 0 2 F 1/09

識別記号

5 0 5

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平5-249523

(22)出願日 平成5年(1993)10月5日

(71)出願人 000004466

三菱瓦斯化学株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目5番2号

(72)発明者 白井 一志

東京都葛飾区新宿六丁目1番1号 三菱瓦斯化学株式会社東京研究所内

(72)発明者 武田 憲夫

東京都葛飾区新宿六丁目1番1号 三菱瓦斯化学株式会社東京研究所内

(54)【発明の名称】 ファラデー回転子

(57)【要約】

【目的】 飽和磁界が非常に低いにもかかわらず、磁気ヒステリシスが大きいため光スイッチや磁界センサ用ファラデー回転子としての利用が困難であった希土類鉄ガーネット単結晶膜の磁気ヒステリシスを解消する方法を提供する。

【構成】 希土類鉄ガーネット単結晶膜の一部分に永久磁石を配置する。

【効果】 飽和磁界が非常に低いにも関わらず、磁気ヒステリシスが大きいためファラデー回転子としての利用が困難であった希土類鉄ガーネット単結晶の磁気ヒステリシスを消失させることができ、その結果、ファラデー効果を利用した光スイッチや、磁界センサー用のファラデー回転子として低飽和磁界希土類ガーネット単結晶の応用が可能となった。

【特許請求の範囲】

【請求項1】希土類鉄ガーネット単結晶膜の少なくとも一部分が永久磁石によって膜面垂直方向に常に磁化されていることを特長とするファラデー回転子。

【請求項2】2個の永久磁石を用いて、ファラデー回転子の2箇所を互いに反対方向に磁化することを特長とする請求項1記載のファラデー回転子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、磁氣的にヒステリシスの大きな希土類鉄ガーネット単結晶膜を、光磁界センサや光スイッチ用途のファラデー回転子として利用する方法に関する。更に詳しく云えば、本発明は、光磁界センサや光スイッチのファラデー回転子としての利用する際に障害となる希土類鉄ガーネット単結晶膜の磁気ヒステリシスを消失させることで、磁気ヒステリシスの大きな希土類鉄ガーネット単結晶膜でもこれら用途のファラデー回転子として利用可能ならしめる方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、大きなファラデー効果を有する希土類鉄ガーネット単結晶膜を利用した光スイッチ、また光電流センサや光回転センサとも呼ばれる光磁界センサと云ったデバイスが次々と実用化され、これら用途に合わせた希土類鉄ガーネット単結晶膜の開発も盛んにおこなわれている。ファラデー効果は磁気光学効果の一種で、ファラデー効果を示す材料、すなわち希土類鉄ガーネット単結晶膜などのファラデー素子〔ファラデー回転子〕を透過した光の偏波面が回転する現象を指す。そしてこの偏波面の回転角の大きさは、ファラデー素子の磁化の強度に比例して大きくなる。この様子を図1に示す。図1において、外部磁界〔強度〕を印加しない状態における、ファラデー回転子のファラデー回転角は、ゼロ〔0〕、即ち、原点oに位置する。外部磁界が徐々に強まるとファラデー回転角の絶対値〔 θ_F 、または、 $-\theta_F$ 、通常右回りをプラス、左回りをマイナスとする〕は、経路a、または、経路dを経て、次第に大きくなって行く〔経路o→a→b、または、経路o→d→e〕。外部磁界強度が或る強度〔 H_S 〕に達するとファラデー回転角は、飽和した値〔飽和磁界：b、または、e点〕となる。更に外部磁界強度が強まっても、すでにファラデー回転角が飽和しているから、bからc、または、dからfへと移行するのみで、ファラデー回転角は変化しない。つぎに外部磁界を徐々に弱めていくと、逆の経路、即ち、c→b→a→o、或いは、f→e→d→oを辿り、最後には外部磁界の影響がなくなり、原点oに戻る。以上述べたような、偏波面回転角の磁界依存特性を利用したのが、光スイッチや磁界センサである。

【0003】光スイッチは、図1の飽和点bと飽和点e以上の磁界を磁界発生装置によって発生、切り換えるこ

とで動作するものであり、また、光電流センサによる磁界の検出は、この原点oと飽和点b間の直線領域におけるファラデー回転角の差異を光強度として検出しようとするものである。そして、回転センサとしての光磁界センサによる磁界の強弱の検出は、この原点oと、飽和点b、或いは、飽和点cにおけるファラデー回転角の差異を光強度として検出しようとするものである。

【0004】希土類鉄ガーネット単結晶膜などのファラデー回転子を利用した光スイッチの構成を図2に示す。ここで、符号1はルチル等からなる偏光子、符号2は希土類鉄ガーネット単結晶膜等からなるファラデー回転子、符号3はルチル等からなる偏光分離素子である。符号4はファラデー回転子が磁氣的に飽和するのに十分な磁界、すなわち飽和磁界以上の磁界を発生させるための電磁石やコイルなどからなる磁界発生装置である。図2において、偏光子1を透過した光は直線偏光となりファラデー回転子に入射する。ファラデー回転子に入射した光の偏波面はここで回転する。この偏波面の回転方向が右回り（プラス）となるか、あるいは左回り（マイナス）となるのかは、ファラデー回転子に印加される磁界の方向による。偏波面の回転方向が切り替わると、偏光分離素子4を透過した光の光路が切り替わる。すなわち、外部印加磁界の方向を切り換えることで、光の出射位置が切り替わる、すなわちスイッチングが可能となるのである。この構成においてファラデー回転子の飽和磁界が大きいと、ファラデー回転子の磁化を飽和させるに足る十分な磁界を発生させるために、磁界発生装置が大型化して、大きな電力が必要となる。また電流によるコイルの発熱などの問題が発生する。このため、ファラデー効果を応用した光スイッチでは、希土類鉄ガーネット単結晶膜の飽和磁界は可能な限り小さくして、磁界発生装置の省電力化や小型化を図らなければならない。

【0005】光電流センサは一般に図3のように構成される。すなわち、符号5はルチル等からなる偏光子、符号6は希土類鉄ガーネット単結晶膜等からなるファラデー回転子、符号7はルチル等からなる検光子である。図3において偏光子5を透過した光は直線偏光となり、ついでファラデー回転子によってその偏波面が回転する。ファラデー回転子を透過した光は、つぎに検光子を透過するが、その光強度は、ファラデー回転角に応じて変化する。通常、ファラデー回転子による偏波面の回転は、ファラデー回転子に印加される外部磁界強度に応じて、飽和磁界以下においてはほぼ直線的に変化する（図1参照）。したがって検光子透過後の光強度を測定することによって、ファラデー回転子に印加される外部磁界強度が検知されることになる。光電流センサにおいては、電線を流れる電流の僅かな変化を精度良く検出する必要があるが、電流の僅かな変化、すなわち電流が形成する磁界の微小変化を検出するためには、図1における直線の傾きを立ち上げる必要がある。そのためにはファラデー

回転子に用いる希土類鉄ガーネット単結晶膜の飽和磁界を下げ、単位磁界当たりのファラデー回転角を大きくする必要はある。

【0006】光磁界センサを用いる回転速度計、即ち、光信号による回転速度計では、回転機器に永久磁石が取り付けられており〔アプライド オプティックス(Applied Optics)、第28巻、第11号、1992頁(1989年)〕、この永久磁石の形成する磁界の影響がおよぶ範囲に希土類鉄ガーネット単結晶からなる光磁界センサが配置される。すると回転機器の回転に伴い、光磁界センサと永久磁石が接近と離反を繰り返すが、永久磁石が接近した場合と離反した場合とで、ファラデー回転子に印加される磁界強度に差が生じる。すなわち永久磁石の回転により、ファラデー回転角が変化し、その結果検光子と透過する光の強度が変化する。したがって、永久磁石の回転数・回転速度を光強度変化としてとらえることができるのである。この場合、永久磁石と光磁界センサヘッドとの距離が長くなると、永久磁石の形成する磁界は弱まる。従って、ファラデー効果を利用した回転速度計の感度と精度とを、より高めるためには、より磁力の強い永久磁石を用いて永久磁石の形成する磁界の弱まりに対応するか、或いは、および、弱い磁界においても充分な機能を発揮する光磁界センサヘッドを選ぶと共に、永久磁石と光磁界センサヘッドとの距離をより短くする必要がある。永久磁石を、より磁力の強いものに替えることは、経済的に不利であるのみならず、時として、永久磁石の形状が大きくなって設置場所に制約が生じ、また、永久磁石と光磁界センサヘッドとの距離が長くなり、実質的な改善効果が得られないなどの弊害が生じる。そこで、低い磁界で磁氣的に飽和する希土類鉄ガーネット単結晶膜が必要となる。

【0007】以上のように、光スイッチや光磁界センサにおいては、性能面、あるいは製造コストの面で、できるだけ低い磁界で飽和する希土類鉄ガーネット単結晶膜が切望されているのである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】化学構造式 $R_3(FeA)_3O_{12}$ 〔但し、Rは、イットリウムYやビスマスBi、或いは、希土類元素を意味し、Aは、アルミニウムAlやガリウムGaなどのことを意味する〕で表される希土類鉄ガーネット単結晶膜は、液相エピタキシャル(LPE)法で比較的容易に製造することができる。特に希土類の一部をビスマスで置換したビスマス置換鉄ガーネット単結晶は、非常に大きなファラデー効果を示すことが知られている。

【0009】光スイッチや光磁界センサに用いられる希土類鉄ガーネット単結晶は、感度の面、あるいは製造コストの面で、できるだけ低い飽和磁界を有することが望ましいことから、通常鉄をアルミニウムAlやガリウムGaなどの元素で置換することが広く行われている。例え

ば、 $(GdBi)_3(FeGaAl)_3O_{12}$ や $(HoTbBi)_3(FeGaAl)_3O_{12}$ など〔特開平61-20926、特願平5-55621参照〕が報告されている。しかしながら希土類鉄ガーネット単結晶膜において、AlやGaとFeとの構成比を変え、その飽和磁界を下げていくと、次第に磁気ヒステリシスが大きくなるという、実用上極めて大きな問題がある。

【0010】以下、磁気ヒステリシスを詳細に説明する。飽和磁界の比較的大きな希土類鉄ガーネット単結晶、例えば $(HoTbBi)_3Fe_3O_{12}$ のファラデー回転子の外部磁界に対する磁化特性、即ち、外部磁界強度とファラデー回転角との関係は、図1のようである。ところが、飽和磁界が小さな希土類置換鉄ガーネット単結晶、例えば $(GdBi)_3(FeAlGa)_3O_{12}$ は、外部磁界強度とファラデー回転角との関係において、図4のように、経路 $o \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow b' \rightarrow a \rightarrow o$ のようなヒステリシスループを描く。すなわち、外部磁界の強度を強めて行くとき〔経路 $o \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c$ 〕と、弱めて行くとき〔経路 $c \rightarrow b \rightarrow b' \rightarrow a \rightarrow o$ 〕とで、その経路が異なるのである。

【0011】図4において、b点、および、e点における磁界を飽和磁界 H_s 、磁化特性のヒステリシスによって生じたb'点、および、e'点における磁界を核形成磁界 H_n と称し、飽和磁界 H_s と核形成磁界 H_n との差($H_s - H_n$)をヒステリシスの大きさと定義する。今、説明を簡単・容易にするために、b点における飽和磁界 H_s を H_{s1} 、b'点における核形成磁界 H_n を H_{n1} と表示し、また、e点における飽和磁界 H_s を H_{s2} 、e'点における核形成磁界 H_n を H_{n2} と表示する。

【0012】希土類鉄ガーネット単結晶膜のヒステリシスが大きくなり、核形成磁界 H_n が原点oに近づくと、図4に見られるように、磁氣的に一旦飽和された状態が、外部磁界が殆どゼロになるまで保持されることになる。従って、ヒステリシスの大きなファラデー回転子で構成された光回転センサでは、磁界強度の強弱を検知するためには、光磁界センサの周囲・周辺の磁界強度を、ほぼゼロにしなければならない。ところが回転センサは通常一般に、機械装置内部に設置され、しかもその機械装置材料はわずかではあるが磁力を帯びている。したがって、光磁界センサの周囲・周辺の磁界強度を、ほぼゼロにした状態で使用するのはかなり困難である。また光電流センサでは、その磁界の測定範囲が H_n 以下という制限が生じる。

【0013】また、希土類鉄ガーネット単結晶膜のヒステリシスが更に大きくなると、核形成磁界 H_{n1} が原点oを越えてマイナス側に入り込むものや〔図5〕、核形成磁界 H_{n1} が飽和磁界 H_{s2} よりも大きく、四角形のヒステリシスカーブを描き〔図6〕、一旦飽和された後は、この四角形のループを描くだけとなり、飽和に必要な磁界が希土類鉄ガーネット単結晶の本来の飽和磁界 H_s より大きくなるものもある。

【0014】このようにヒステリシスの大きな希土類鉄ガーネット単結晶は、印加磁界とファラデー回転角の直線性がはずれることから光電流センサ用のファラデー回転子として全く不適当であることは勿論、回転センサや光スイッチ用途にも、その飽和に必要な磁界が大きくなることから利用は非常に困難である。

【0015】一般に希土類鉄ガーネット単結晶膜は、鉄をガリウムやアルミニウムなどで置換していくと飽和磁界が低下するが、飽和磁界の低下につれて磁気ヒステリシスが大きくなる。そこで本発明者らは、磁気ヒステリシスのない希土類鉄ガーネット単結晶膜を開発すべく鋭意検討した。その結果、従来の希土類鉄ガーネット単結晶膜に比較して、飽和磁界が低いにも関わらず磁気ヒステリシスが非常に小さな $(YLaBi)_3(FeGa)_3O_{12}$ を見いだした。すなわち非磁性ガーネット単結晶基板上に、液相エビタキシャル法で育成された一般式 $Y_{3-x-y}La_xBi_zFe_{3-z}Ga_zO_{12}$ 〔但し、 x, y, z は、各々、 $0.1 \leq x \leq 0.4$ 、 $1.0 \leq y \leq 1.9$ 、 $1.0 \leq z \leq 1.6$ の数である〕なる化学組成を有する希土類鉄ガーネット単結晶膜である。しかしながら、上記 $(YLaBi)_3(FeGa)_3O_{12}$ においても、飽和磁界を低下させるにつれて磁気ヒステリシスが大きくなる傾向が見られた。そして飽和磁界を150 Oe以下にすると、ファラデー回転角と外部印加磁界の関係は図5、あるいは図6となり、実用化は非常に困難である。

【0016】以上詳細に説明したように、飽和磁界の低い希土類鉄ガーネット単結晶膜は、磁気ヒステリシスが大きいと、光スイッチや光磁界センサ用のファラデー回転子に用いる場合、磁界を切り換えるための磁界発生装置が大きくなるとか、回転体にとりつける永久磁石強度を強くするとか、磁界測定範囲が非常に狭い等の障害や制限があるのが現状である。

【0017】

【課題を解決するための手段】本願発明者らは、磁気ヒステリシスの大きな希土類鉄ガーネット単結晶膜を光スイッチや光磁界センサ用途のファラデー回転子として利用する方法を鋭意検討した結果、希土類鉄ガーネット単結晶膜の一部を永久磁石によって膜面垂直方向に常に磁化することにより、光スイッチや光磁界センサの動作に支障をきたす原因となった磁気的なヒステリシスが消失することを見出し、ヒステリシスの大きな希土類鉄ガーネット単結晶膜でも光スイッチや光磁界センサ用途のファラデー回転子として利用することが可能になる、との極めて有益な知見を得て、更に、研究・検討を加え本願発明を完成させた。

【0018】即ち、本願発明は、希土類鉄ガーネット単結晶膜の一部を永久磁石によって膜面垂直方向に常に磁化することによって、希土類鉄ガーネット単結晶膜の外部磁界に対する磁化特性が改善されるとの知見に基づき、更に、詳細な実験検討を行い、工業的製造技術とし

て完成させたものである。

【0019】希土類鉄ガーネット単結晶膜の一部を永久磁石により膜面垂直方向に常に磁化することによって、希土類鉄ガーネット単結晶膜の磁気ヒステリシスが解消される理由は明確ではないが、希土類鉄ガーネット単結晶膜の磁区構造と関連して、以下のように推察される。

【0020】希土類鉄ガーネットの磁区構造は、図8に示されるように、磁化方向が上向きの領域Aと下向きの領域Bが交互に列ぶ、いわゆる多磁区構造を示す（状態1）。そして、例えば領域Aと同じ方向に外部から磁界を印加すると（以下説明を明瞭にするため、上向きの磁化、あるいは磁界の方向をプラス、下向きの磁化、あるいは磁界の方向をマイナスと定める）、次第に領域Aの面積が増加し（状態2）、最後には磁区が消失し、全ての磁化がプラス方向に揃った状態となる（状態3）。これが磁氣的に飽和した状態にはかならない。つぎに、外部印加磁界強度を徐々に弱くしていくと、飽和磁界強度よりも僅かに低い状態で、磁区が出現する。ところが、磁気ヒステリシスが大きな希土類鉄ガーネット単結晶膜は、外部印加磁界を弱くしても、図8の状態3の単磁区構造を維持しつづけるのである。これは、単磁区構造から多磁区構造に移行するために、単磁区構造の磁化方向と逆の、すなわちマイナスの磁化方向を出現させるなんらかの作用が必要であることを示唆している。

【0021】しかるに、希土類鉄ガーネット単結晶の一部に、磁化がマイナスの永久磁石を取り付けると、外部からプラス方向に磁界を印加し、ほとんどの領域はプラスに磁化されたとしても、永久磁石の周辺は常にマイナスの磁化を保持することになる（図9）。つぎに外部印加磁界を弱めていくと、すでに永久磁石周辺はマイナスの磁化を有する磁区があるため、ここからマイナスの磁化を有する領域Bが全体に速やかに広がる（図10）、というスキームが想定される。したがって、希土類鉄ガーネットの永久磁石をとりつけた部分以外のところに注目すると、ヒステリシスがまったくない状態が実現されるのである。

【0022】本願発明の完成によって、希土類鉄ガーネット単結晶膜を利用した、より一層の省電力で小型化された光スイッチや、微小な磁界でも検知する光磁界センサの製造が可能になった。

【0023】本発明を実施するとき、永久磁石の種類に特に制限はなく、アルニコ磁石、フェライト磁石、希土類磁石など希土類鉄ガーネット単結晶を局所的に飽和させるのに十分な磁力を有する永久磁石であれば良い。

【0024】本発明を実施するとき、永久磁石の大きさに特に制限はなく、希土類鉄ガーネット単結晶を局所的に飽和させることができる大きさであればよい。

【0025】本発明を実施するとき、永久磁石の配置は、希土類鉄ガーネットの大きさと永久磁石の強度、大きさによって異なるが、通常光を透過させる部分から

0.3mm以上の距離をもたせればよい。

【0026】本発明を実施するとき、永久磁石の磁化方向は、外部から希土類鉄ガーネット単結晶に印加する磁界と逆方向でなければならない。外部から希土類鉄ガーネット単結晶に印加する磁界が一方ではなく正逆の磁界が印加される場合は、磁化方向が異なる2つ以上の永久磁石を配置すればよい。

【0027】本発明を実施するとき、ファラデー回転子、即ち、希土類磁性ガーネットの組成に特に制限はないが、一般式、 $R_3\text{Fe}_{3-x}\text{A}_x\text{O}_{12}$ 〔但し、RはBi、Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Luの群から選ばれる少なくとも一種であり、AはGa、Sc、Al、Inの群から選ばれる少なくとも一種である〕で示される磁性ガーネット単結晶の、特に磁気的なヒステリシスの大きなものに対して適用することが好ましい。

【0028】以下、本発明を実施例によって、その実施態様と効果を具体的に、かつ詳細に説明するが、以下の例は、具体的に説明するものであって、本発明の実施態様や発明の範囲を限定するものとしては意図されていない。

【0029】

【実施例】

実施例1

容量 500mlの白金製ルツボに、酸化鉛〔 PbO 、4N〕843g、酸化ビスマス〔 Bi_2O_3 、4N〕978g、酸化第2鉄〔 Fe_2O_3 、4N〕128g、酸化ほう素〔 B_2O_3 、5N〕38g、酸化テルビウム〔 Tb_4O_7 、3N〕6.0g、酸化ホルミウム〔 Ho_2O_3 、3N〕7.0g、酸化ガリウム〔 Ga_2O_3 、3N〕18g、酸化アルミニウム〔 Al_2O_3 、3N〕4.2gを仕込んだ。これを精密縦型管状電気炉の所定の位置に設置し、1000°Cに加熱溶解して十分に攪拌して均一に混合したのち、融液温度 775°Cにまで冷却してビスマス置換希土類磁性ガーネット単結晶育成用融液とした。ここに得られた融液表面に、常法に従って、厚さが 480 μm で、格子定数が 12.493 \pm 0.002 Åの(111)ガーネット単結晶〔 $(\text{GdCa})_3(\text{GaMgZr})_3\text{O}_{12}$ 〕基板の片面を接触させ、融液温度を 775°Cに維持しながらエピタキシャル成長を行い、厚さ47 μm の(HoTbBi)₃(FeGaAl)₃ O_{12} 単結晶膜〔 HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜〕を得た。次に、この HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜を 1mm \times 3mmに切断し、磁気特性を測定した。測定は以下の方法を行った。まず 1mm \times 3mmの大きさの HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜を、マグネテック社のコイルからなる磁界発生装置〔マグネット〕の中心に配置させ、磁界を印加しながら、0.786 μm の半導体レーザ光を HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜に照射した。そして HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜を透過したレーザ光の偏波面の回転角の測定から、ファラデー回転角の印加磁界依存性を調べた。その結果から、 HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜の飽和磁界とヒステリシスの大きさを得た。その結果、図4と同様のヒステリシスカー

ブが得られた。即ち HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜の磁気特性は、

$$\text{Hs1} = 180(\text{Oe}) \quad \text{Hs2} = -180(\text{Oe}) \quad \text{Hn1} = 20(\text{Oe}) \quad \text{Hn2} = -20(\text{Oe})$$

であった。

【0030】次に、 HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜に図10に示すような配置で、永久磁石を固定し、同様に磁気特性を測定した。永久磁石は、残留磁束密度4000(G)、形状 1mm ϕ \times 1mmのフェライト永久磁石である。このフェライト永久磁石は、ファラデー回転子の角に、その磁化方向がファラデー回転子の膜面に対して垂直になるようにエポキシ系接着剤で固定されている。このファラデー回転子の中心位置での磁界特性を測定した結果が図11である。印加磁界がプラスの領域で(永久磁石による磁化方向と逆方向)、磁気的なヒステリシスが消失した。即ち HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜の磁気特性は、

$$\text{Hs1} = 180(\text{Oe}) \quad \text{Hs2} = -180(\text{Oe}) \quad \text{Hn1} = 180(\text{Oe}) \quad \text{Hn2} = -10(\text{Oe})$$

であった。

【0031】実施例2

実施例1に使用したフェライト永久磁石を図12のように配置した以外は、実施例1と同様に HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜の磁気特性を測定した。但し二つのフェライト永久磁石の磁化方向は逆向きとした。このファラデー回転子の中心位置での磁界特性を測定したところ、図1のような特性をしめした。すなわち、

$$\text{Hs1} = 180(\text{Oe}) \quad \text{Hs2} = -180(\text{Oe}) \quad \text{Hn1} = 180(\text{Oe}) \quad \text{Hn2} = -180(\text{Oe})$$

であった。

【0032】実施例3

実施例2におけるフェライト永久磁石の代わりに残留磁束密度10000(G)、形状 1mm ϕ \times 1mmの希土類永久磁石にした以外は、実施例2と同様の測定を行った。この HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜の中心位置での磁界特性を測定したところ、図1のような特性を示した。すなわち、

$$\text{Hs1} = 180(\text{Oe}) \quad \text{Hs2} = -180(\text{Oe}) \quad \text{Hn1} = 180(\text{Oe}) \quad \text{Hn2} = -180(\text{Oe})$$

であった。

【0033】実施例4

実施例1で作製した 1mm \times 3mmの大きさの HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜の両端に、残留磁束密度4000(G)、形状 1mm \times 1mm \times 0.5mmのフェライト永久磁石を配置し、エポキシ系接着剤で固定した。図13に HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜と磁石の配置を示した。フェライト永久磁石は、その磁化方向が HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜の膜面に対して垂直になるよう固定されている。この HoTbBiFeGaAlG 単結晶膜の中心位置での磁界特性を測定したところ、図12のような特性を示した。すなわち

$$\text{Hs1} = 180(\text{Oe}) \quad \text{Hs2} = -180(\text{Oe}) \quad \text{Hn1} = 180(\text{Oe}) \quad \text{Hn2} = -180(\text{Oe})$$

であった。

【0034】実施例5

容量 300mlの白金製ルツボに、酸化鉛〔PbO、4N〕420g、酸化ビスマス〔Bi₂O₃、4N〕490g、酸化第2鉄〔FeO₃、4N〕65g、酸化ほう素〔B₂O₃、5N〕15g、酸化ガドリニウム〔Gd₂O₃、3N〕7.1g、酸化ガリウム〔Ga₂O₃、3N〕1.3g、酸化アルミニウム〔Al₂O₃、3N〕3.8gを仕込んだ。これを精密縦型管状電気炉の所定の位置に設置し、1000℃に加熱熔融して十分に攪拌して均一に混合したのち、融液温度 841℃にまで冷却してビスマス置換希土類磁性ガーネット単結晶育成用融液とした。ここに得られた融液表面に、常法に従って、厚さが 480μmで、格子定数が 12.493 ± 0.002 Åの (111)ガーネット単結晶〔(GdCa)₃(GaMqZr)₃O₁₂〕基板の片面を接触させ、融液温度を 841℃に維持しながらエピタキシャル成長を行い、厚さ 26μmの (GdBi)₃(FeGaAl)₃O₁₂単結晶膜〔GdBiFeGaAl単結晶膜〕を得た。次に、この GdBiFeGaAl単結晶膜を 1mm×3mm に切断し、実施例1とまったく同様の方法で、磁気特性を測定したところ、図6に示されるような角型ヒステリシスを示した。すなわち

$$Hs1 = 80(Oe) \quad Hs2 = -80(Oe) \quad Hn1 = -240(Oe) \quad Hn2 = 240(Oe)$$

であった。次に、1mm×3mmの大きさの GdBiFeGaAl単結晶膜に実施例4と同様に、図13に示すような配置で、永久磁石を固定し、同様に磁気特性を測定した。永久磁石は、実施例4で使用した残留磁束密度4000

(G)、形状 1mm×1mm×0.5mmのフェライト永久磁石である。この GdBiFeGaAl単結晶膜の中心位置での磁界特性を測定したところ、図1のような特性を示した。すなわち

$$Hs1 = 80(Oe) \quad Hs2 = -80(Oe) \quad Hn1 = 80(Oe) \quad Hn2 = -80(Oe)$$

であった。

【0035】

【発明の効果】本発明によれば、飽和磁界が非常に低いにも関わらず、磁気ヒステリシスが大きいため、ファラデー回転子としての利用が困難であった希土類鉄ガーネット単結晶の磁気ヒステリシスを消失させることができる。その結果、ファラデー効果を利用した光スイッチや、磁界センサー用のファラデー回転子として低飽和磁

界希土類ガーネット単結晶の応用が可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図1】磁気ヒステリシスを示さない希土類鉄ガーネット

*ト単結晶の磁気特性の一例を示す模式図である。

【図2】ファラデー効果を利用した光スイッチの一例を示す図である。

【図3】ファラデー効果を利用した電流センサーの一例を示す図である。

【図4】磁気ヒステリシスを示す希土類鉄ガーネット単結晶の磁気特性の一例を示す模式図である。

【図5】非常に大きな磁気ヒステリシスを示す希土類鉄ガーネット単結晶の磁気特性の一例を示す模式図である。

【図6】磁気ヒステリシスが非常に大きいため、角型ヒステリシスをなす希土類鉄ガーネット単結晶の磁気特性の一例を示す模式図である。

【図7】希土類鉄ガーネット単結晶の磁区の状態を示す模式図である。

【図8】希土類ガーネット単結晶の一部に永久磁石が配置され、しかも飽和磁界以上の磁界を外部から印加した場合の、希土類ガーネット単結晶の磁区の状態を示す模式図である。

【図9】希土類ガーネット単結晶の一部に永久磁石が配置されており、しかも外部磁界が飽和磁界以下に低下した場合の、希土類鉄ガーネット単結晶の磁区の状態を示す模式図である。

【図10】大きさ 1mm×3mmの希土類ガーネット単結晶の一部に永久磁石が1個配置されているファラデー回転子の模式図である。

【図11】図10の構成からなる希土類ガーネット単結晶の磁気特性の一例を示す図である。

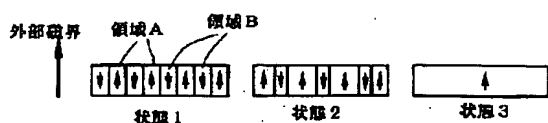
【図12】大きさ 1mm×3mmの希土類ガーネット単結晶の一部に永久磁石が2個配置されているファラデー回転子の模式図である。

【図13】大きさ 1mm×3mmの希土類ガーネット単結晶の両端に永久磁石が2個配置されているファラデー回転子の模式図である。

【符号の説明】

- 1 . . . 偏光子
- 2 . . . ファラデー回転子
- 3 . . . 偏光分離素子
- 4 . . . 磁界発生装置
- 5 . . . 偏光子
- 6 . . . ファラデー回転子
- 7 . . . 検光子

【図7】



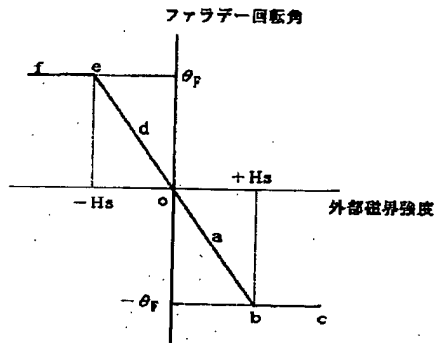
【図8】



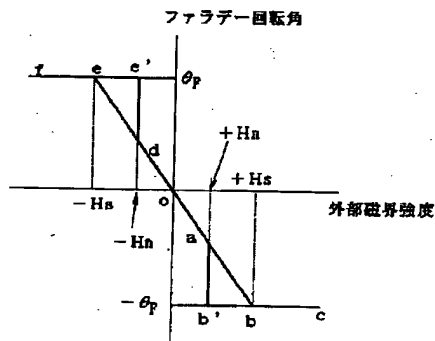
【図9】



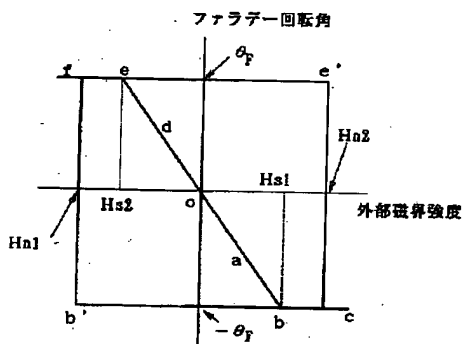
【図1】



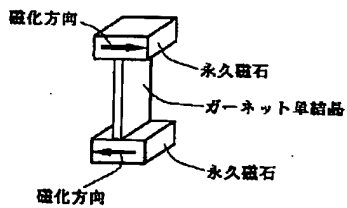
【図4】



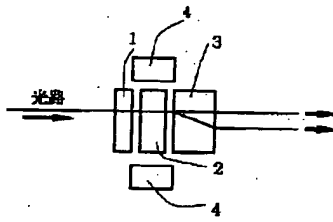
【図6】



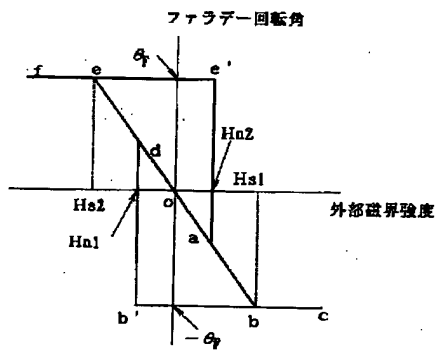
【図13】



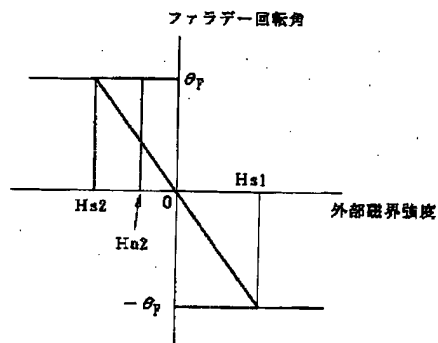
【図2】



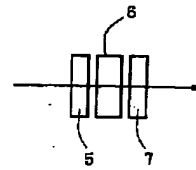
【図5】



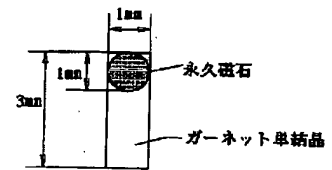
【図11】



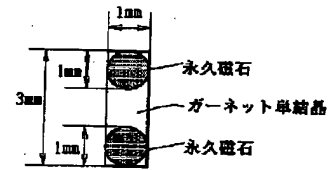
【図3】



【図10】



【図12】



【手続補正書】

【提出日】平成6年8月23日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0002

【補正方法】変更

【補正内容】

【0002】

【従来の技術】近年、大きなファラデー効果を有する希土類鉄ガーネット単結晶膜を利用した光スイッチ、また光電流センサや光回転センサとも呼ばれる光磁界センサと云ったデバイスが次々と実用化され、これら用途に合わせた希土類鉄ガーネット単結晶膜の開発も盛んにおこなわれている。ファラデー効果は磁気光学効果の一種で、ファラデー効果を示す材料、すなわち希土類鉄ガーネット単結晶膜などのファラデー素子〔ファラデー回転子〕を透過した光の偏波面が回転する現象を指す。そしてこの偏波面の回転角の大きさは、ファラデー素子の磁化の強度に比例して大きくなる。この様子を図1に示す。図1において、外部磁界〔強度〕を印加しない状態における、ファラデー回転子のファラデー回転角は、ゼロ〔0〕、即ち、原点oに位置する。外部磁界が徐々に強まるとファラデー回転角の絶対値〔 θ_f 、または、 $-\theta_f$ 、通常右回りをプラス、左回りをマイナスとする〕は、経路a、または、経路dを経て、次第に大きくなって行く〔経路o→a→b、または、経路o→d→e〕。外部磁界強度が或る強度〔 H_s 〕に達するとファラデー回転角は、飽和した値〔飽和磁界：b、または、e点〕となる。更に外部磁界強度が強まっても、すでにファラデー回転角が飽和しているから、bからc、または、eからfへと移行するのみで、ファラデー回転角は変化しない。つぎに外部磁界を徐々に弱めていくと、逆の経路、即ち、c→b→a→o、或いは、f→e→d→oを辿り、最後には外部磁界の影響がなくなり、原点oに戻る。以上述べたような、偏波面回転角の磁界依存特性を利用したのが、光スイッチや磁界センサである。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正内容】

【0020】希土類鉄ガーネットの磁区構造は、図7に示されるように、磁化方向が上向きの領域Aと下向きの領域Bが交互に列ぶ、いわゆる多磁区構造を示す（状態1）。そして、例えば領域Aと同じ方向に外部から磁界を印加すると（以下説明を明瞭にするため、上向きの磁化、あるいは磁界の方向をプラス、下向きの磁化、あるいは磁界の方向をマイナスと定める）、次第に領域Aの面積が増加し（状態2）、最後には磁区が消失し、全ての磁化がプラス方向に揃った状態となる（状態3）。これが磁氣的に飽和した状態にはならない。つぎに、外部印加磁界強度を徐々に弱くしていくと、飽和磁界強度よりも僅かに低い状態で、磁区が出現する。ところが、磁気ヒステリシスが大きな希土類鉄ガーネット単結晶膜は、外部印加磁界を弱くしても、図7の状態3の単磁区構造を維持しつづけるのである。これは、単磁区構造から多磁区構造に移行するために、単磁区構造の磁化方向と逆の、すなわちマイナスの磁化方向を出現させるなんらかの作用が必要であることを示唆している。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0021

【補正方法】変更

【補正内容】

【0021】しかるに、希土類鉄ガーネット単結晶の一部に、磁化がマイナスの永久磁石を取り付けると、外部からプラス方向に磁界を印加し、ほとんどの領域はプラスに磁化されたとしても、永久磁石の周辺は常にマイナスの磁化を保持することになる（図8）。つぎに外部印加磁界を弱めていくと、すでに永久磁石周辺はマイナスの磁化を有する磁区があるため、ここからマイナスの磁化を有する領域Bが全体に速やかに広がる（図9）、というスキームが想定される。したがって、希土類鉄ガーネットの永久磁石をとりつけた部分以外のところに注目すると、ヒステリシスがまったくない状態が実現されるのである。